

University of Groningen

## Bedreigingen en herstelmogelijkheden van het KMDA reservaat "De Zegge"

van Diggelen, Rudy; Grootjans, Albert

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Publication date:*  
2019

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

van Diggelen, R., & Grootjans, A. (2019). *Bedreigingen en herstelmogelijkheden van het KMDA reservaat "De Zegge"*. (ECOB 019-R233 redactie) (ECOB 019-R233; Nr. 019-R233). Ecosystem Management Research Group.

### Copyright

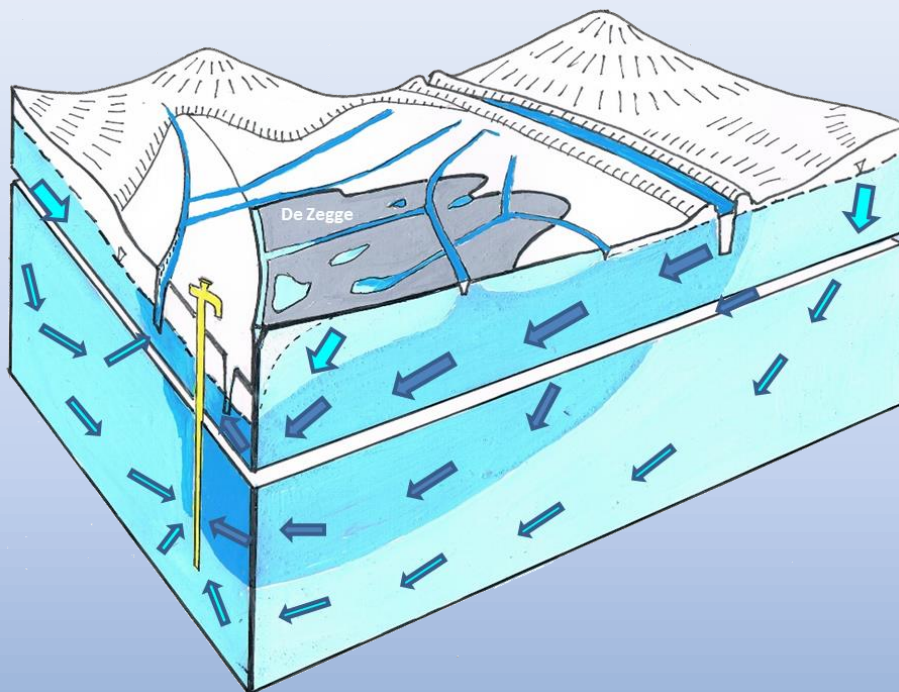
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.



# BEDREIGINGEN EN HERSTELMOGELIJKHEDEN VAN HET KMDA RESERVAAT “DE ZEGGE”

ECOBE 019-R233



## Colofon

Rapport Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer ECOBE 019-R233.

Wijze van refereren:

R. van Diggelen & A.P. Grootjans, 2019. Bedreigingen en herstelmogelijkheden van het KMDA reservaat “De Zegge”, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, ECOBE 019-R233.

5 april 2019

Prof. Dr. R. van Diggelen  
e-mail: [ruurd.vandiggelen@uantwerpen.be](mailto:ruurd.vandiggelen@uantwerpen.be)  
Universiteit Antwerpen  
Departement Biologie  
Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer  
Universiteitsplein 1-C  
BE-2610 Antwerpen (Wilrijk)  
<http://www.ua.ac.be/ecobe>

Prof. Dr. A.P. Grootjans  
e-mail: [a.p.grootjans@rug.nl](mailto:a.p.grootjans@rug.nl)  
Center for Energy and Environmental Studies,  
Rijksuniversiteit Groningen  
Nijenborg 6  
9747 AG Groningen  
Nederland

# Bedreigingen en herstel mogelijkheden van het KMDA reservaat “De Zegge”

Rudy van Diggelen

Ab Grootjans



Universiteit Antwerpen

# Inhoudsopgave

Achtergrond .....	3
Historische ontwikkeling .....	4
Ecohydrologische condities.....	6
Grondwateronttrekkingen .....	8
Ecologische situatie.....	9
Broeikasgas-emissies .....	10
Herstelopties.....	12
Interne inrichtings- en beheermaatregelen.....	12
Externe (Eco)hydrologische inrichtingsmaatregelen .....	14
Effecten van herstelopties .....	15
Effecten op broeikasgas-emissies .....	15
Effecten op ammoniak-emissies.....	15
Effecten op waterberging .....	16
Conclusies en aanbevelingen .....	16
Conclusies .....	16
Aanbevelingen .....	17
Geciteerde referenties.....	18

## Achtergrond

Het voorliggende rapport beoogt een schets te geven van de eco-hydrologische situatie van het natuurreservaat “De Zegge” en de randvoorwaarden voor het behalen van de vastgelegde instandhoudingsdoelen. De aanleiding tot de analyse wordt gevormd door ontwikkelingen in de planvorming met betrekking tot aanpassingen in de hydrologie in de vallei van de Kleine Nete tussen Kasterlee en Herentals. De eigenaar van het gebied, de Koninklijke Maatschappij voor Dierkunde van Antwerpen KMDA, heeft aan de Universiteit Antwerpen een analyse gevraagd van knelpunten in de huidige hydrologische situatie van De Zegge die het behalen van de natuurbeschermingsdoelstellingen belemmeren. Er is ook gevraagd een lange termijnvisie te ontwikkelen hoe de hydrologische problemen kunnen worden opgelost.

Het natuurreservaat “De Zegge” ligt in de gemeente Geel en neemt 115 ha in beslag. De KMDA heeft het grootste oppervlakte in bezit (94,4 ha), aanvullend wordt ca. 1,2 ha gehuurd. Het resterende deel is grotendeels in bezit van het Agentschap voor Natuur en Bos (16 ha) en Natuurpunt (3,8 ha). De Zegge wordt volledig beheerd door de KMDA.

De Zegge valt binnen diverse wettelijke beschermingskaders. Sinds april 1985 is het gebied een erkend natuurreservaat. Door zijn rijke avifauna werd De Zegge opgenomen in de lijst (Natura 2000) gebieden die van internationaal belang zijn en is op EU-niveau beschermd als vogelrichtlijngebied. Bovendien maakt het gebied onderdeel uit van het habitatrichtlijngebied *Valleigebied van de Kleine Nete met brongebieden, moerassen en heiden*. Tenslotte behoort De Zegge tot de beschermde landschappen, is het een onderdeel van het Vlaams Ecologisch Netwerk en is het gebied aangewezen als een zgn. “Ankerplaats”.

Met de aanwijzing van De Zegge tot vogel-richtlijngebied en habitatrichtlijngebied zijn de Belgische regering en de Vlaamse overheid verplichtingen met de EU aangegaan om dit gebied in een gunstige staat van instandhouding te brengen in uiterlijk 2050. Daarnaast stelt de EU Biodiversiteitsstrategie: “De achteruitgang in de status van alle onder natuurwetgeving van de EU vallende soorten en habitats tot staan (te) brengen en een aanzienlijke en meetbare verbetering van hun status (te) bereiken zodat tegen 2020, vergeleken met huidige beoordelingen 100 % meer habitatbeoordelingen en 50 % meer soortenbeoordelingen in het kader van de habitatrichtlijn een verbeterde staat van instandhouding te geven”<sup>1</sup>. De EU stelt hiermee dat alle habitattypen die in een bepaald Habitatrichtlijngebied voorkomen in 2020 in een betere staat van instandhouding moeten verkeren dan ten tijde van de laatste beoordeling<sup>2</sup>. De Vlaamse overheid heeft dit vertaald in haar beleid om in uiterlijk 2020 16 habitattypes in een gunstige staat van instandhouding te brengen of een sterke verbetering te hebben bereikt<sup>3</sup>. Daarnaast heeft de Vlaamse overheid op 23 april 2014 haar definitieve goedkeuring verleend aan de instandhoudingsdoelen en prioritaire inspanningen voor het Habitatrichtlijngebied BE2100026 “Valleigebied van de Kleine Nete met brongebieden, moerassen en heiden”<sup>4</sup> en op 15 oktober 2014

---

<sup>1</sup> <https://www.inbo.be/nl/natuurindicator/de-staat-van-instandhouding-van-de-soorten-van-de-habitatrichtlijn> d.d. 26 februari 2019 10:35

<sup>2</sup> Voor het habitatrichtlijngebied BE2100026 waartoe De Zegge behoort vond de eerste beoordeling plaats in januari 2002 en dateert de meest recente update van september 2015

<sup>3</sup> <https://www.natura2000.vlaanderen.be/gunstige-verbeterde-staat-voor-16-habitats-tegen-2020> d.d. 26 februari 2019 11:00

<sup>4</sup> Besluit Vlaamse Regering 23 april 2014. Aanwijzing met toepassing van de Habitatrichtlijn van de speciale beschermingszone ‘BE2100026 Valleigebied van de Kleine Nete met brongebieden, moerassen en heiden’ en definitieve vaststelling voor die zone en voor de met toepassing van de Vogelrichtlijn aangewezen speciale beschermingszones ‘BE2100424 De Zegge’ en ‘BE2101639 De Ronde Put’ van de bijbehorende instandhoudingsdoelstellingen en prioriteiten. Belgisch Staatsblad 15/10/2014, bl. 80105.



gepubliceerd in het Belgisch staatsblad. Hiermee is juridisch vastgelegd dat het gebied wordt aangewezen als speciale beschermingszone voor een aantal met name genoemde habitats waaronder bedreigde types zoals *Elzenbroekbossen* (91E0), *Veldrusschraallanden* (6410), *Vijvers en meren* (3150) en *Overgangsveen* (7140). Ook wordt het gebied aangewezen als speciale beschermingszone voor soorten uit de Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Een aantal in De Zegge voorkomende soorten zoals *Porseleinhoen*, *Ijsvogel*, *Blauwborst* en *Drijvende waterweegbree* worden met name genoemd.

Concreet betekent het bovenstaande dat beheerder en overheid samen de verplichting hebben de staat van instandhouding van in De Zegge aanwezige natuurwaarden duurzaam te verbeteren voor zover deze niet gunstig is. De door de Vlaamse overheid voor het Habitatrichtlijn-gebied aangewezen te beschermen en te herstellen natte natuurdoeltypen zijn alle gebonden aan nutriëntenarm basen- tot kalkrijk grond- of oppervlaktewater en een duurzame staat van instandhouding is daarmee alleen haalbaar wanneer de hydrologische situatie dusdanig is dat ook op lange termijn aan de hydrologische randvoorwaarden kan worden voldaan. Deze rapportage richt zich daarom met name op een analyse van door de landschapshydrologie aan instandhoudingsdoelstellingen opgelegde randvoorwaarden.

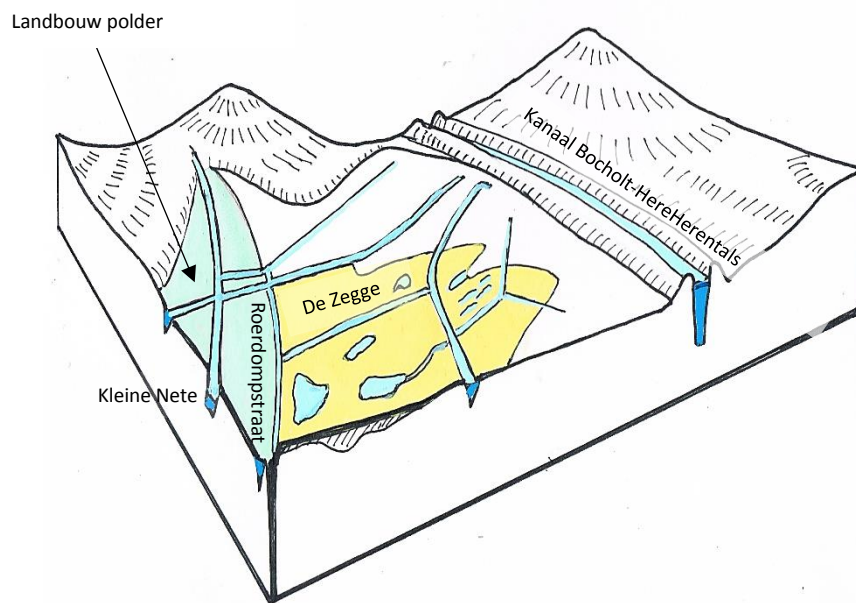
## Historische ontwikkeling

De Zegge is een restant van een eertijds groot moerasgebied, het “Geels Gebroekt”. De kaart van Ferraris (Figuur 1) laat dit moeras al zien en laat daarnaast zien dat de ontwatering van de hele regio nog zeer beperkt is en alleen bestaat uit natuurlijk gevormde afwateringssystemen. Ook laat de kaart zien dat er sprake was van veenaufgraving met een systeem van legakkers. De restanten ervan zijn in de huidige Zegge nog steeds goed herkenbaar. Wat betreft de chemie van het grondwater mag worden aangenomen dat deze niet verschilde van een compleet natuurlijke situatie aangezien intensieve bemesting niet plaats vond. Dat betekent dat er een gradiënt bestond die liep van zuur, zeer voedselarm water in het infiltratiegebied tot gebufferd en voedselarm grondwater in de lage zones.



Figuur 1. Ferraris kaart (1771-1787). De positie van het huidige natuureservaat “De Zegge” is rood omcirkeld.

De boven geschetste situatie werd versterkt door de aanleg van het Kanaal van Bocholt-Herentals. Dit kanaal werd in 1846 in gebruik genomen en loopt min of meer parallel aan de Kleine Nete (Figuur 2) in de flank van het infiltratiegebied. Het waterpeil in het kanaal lag hoger dan het Geels Gebroekt en de huidige Zegge en heeft de aanwezige grondwaterstroming naar de lager gelegen delen verder gebufferd. Omdat het kanaal ter hoogte van De Zegge door het zand loopt kan water naar de ondergrond infiltreren en hiermee de druk op het grondwatersysteem op peil houden zodat er zelfs in extreem droge periodes nog steeds sprake kon zijn van opkwellend grondwater in de lager gelegen delen zoals het Geels Gebroekt.



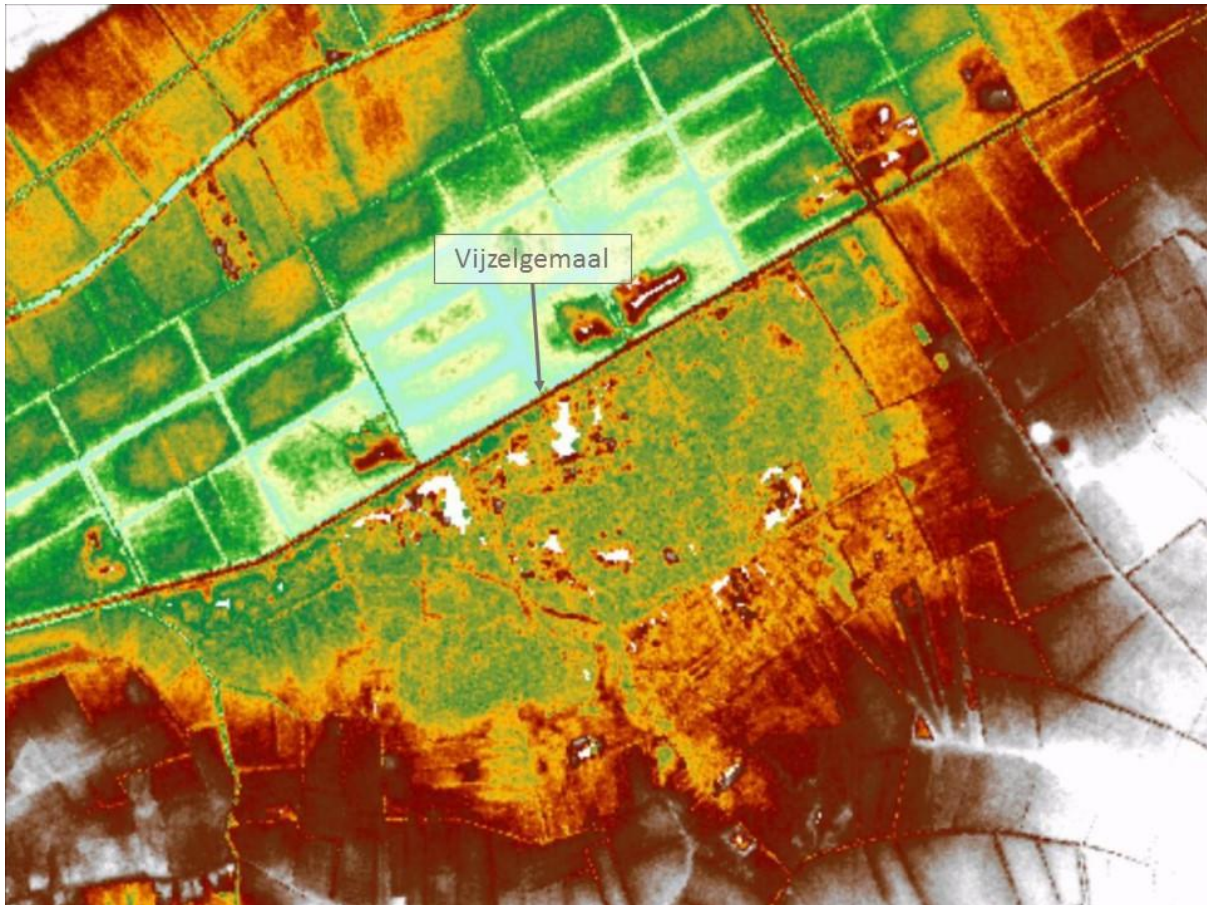
*Figuur 2. Ligging van het Reservaat De zegge, het Kanaal Bocholt-Herentals, de Kleine Nete en de onderbemalen landbouwpolder langs de Roerdompstraat.*

Menselijk gebruik was tot het einde van de Tweede Wereldoorlog zeer beperkt omdat het gebied veel te nat was voor produktieve landbouw. Het gebied bestond grotendeels uit zeer extensief gebruikte blauwgraslandjes en had een dermate grote biologische waarde dat Massart reeds in 1912 in zijn boeken<sup>5</sup> pleitte voor het oprichten van een staatsnatuurreservaat in de vallei van de Kleine Nete.

Aan de beschreven situatie kwam een abrupt einde rond 1960. Een groot deel van het Geels Gebroekt werd toen ontwaterd ten behoeve van landbouwkundig gebruik en er werden een aantal boerderijen gebouwd. Om de ontwatering te versterken werd de Kleine Nete rechtgetrokken en in 1962 werd de huidige Roerdompstraat als dijk aangelegd tussen De Zegge en het nieuwe landbouwgebied. Ook werd een vijzelgemaal gebouwd dat water uit het landbouwgebied naar een randgracht van De Zegge pompt. Als gevolg van deze onderbemaling is het landbouwgebied ingeklonken en is het hoogteverschil met De Zegge steeds groter geworden (Figuur 3). Op dit moment bedraagt het hoogteverschil aan beide kanten van de Roerdompstraat ruim 1 m. Het verschil in waterpeil is nog groter. Gemiddeld ligt het waterpeil tussen het gemaal Roerdomstraat en naastgelegen reservaat 1,5 meter lager (AGT, 2016). In de zomer kan dit verschil oplopen tot ca 2,5 meter (Backx et al., 2012).

<sup>5</sup> "Pour la protection de la nature en Belgique" en "Les aspects de la végétation en Belgique"





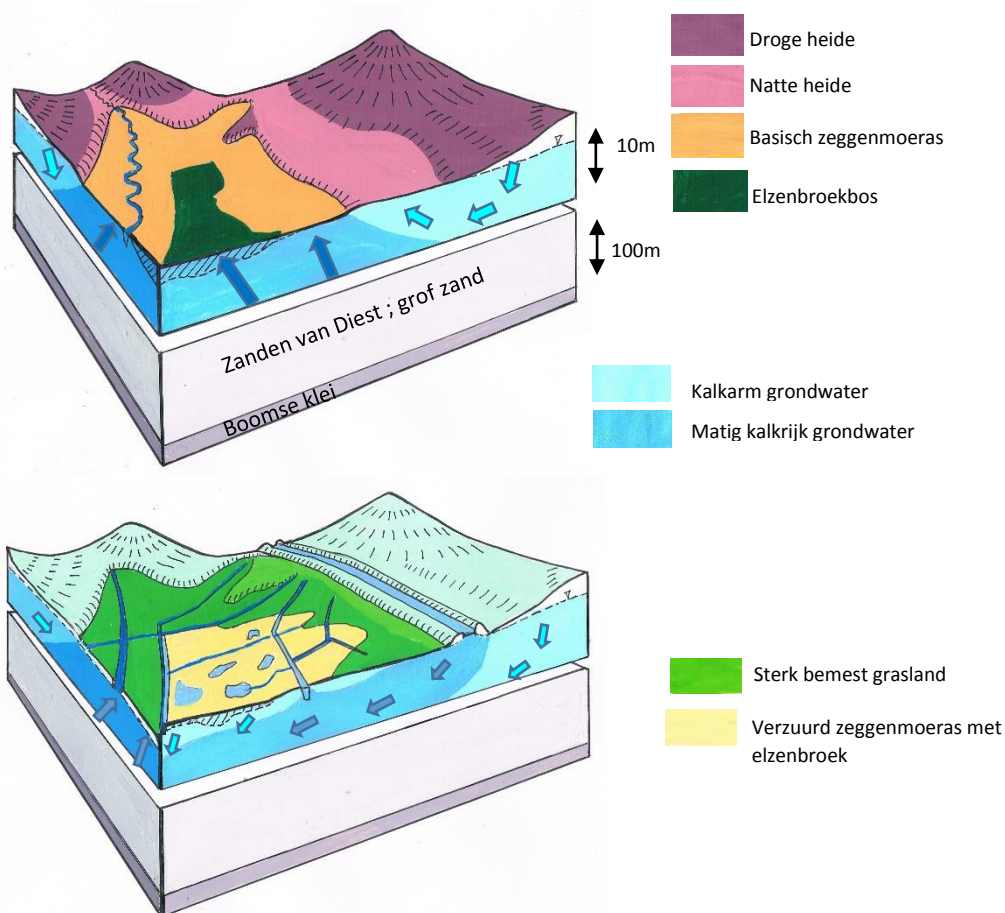
*Figuur 3. Actuele hoogtekaart van De Zegge en omgeving op basis van LIDAR. Legenda: wit en bruinkeleurde delen liggen het hoogst, geel en groen wat lager, lichtgroen en lichtblauw het laagst.*

## Ecohydrologische condities

De ecohydrologische situatie rond het gebied van De Zegge is sinds de tijd dat de menselijke invloeden op de hydrologie nog beperkt waren (rond 1870) sterk veranderd. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4. De situatie van rond 1870 is gebaseerd op de Ferraris kaart. In die tijd bestonden de hogere gronden vrijwel uitsluitend uit natte en droge heidegebieden die extreem voedselarm waren. Het gebied rond De Zegge bestond grotendeels uit een basenrijk zeggemoeras dat aan de randen van het gebied als hooiland in gebruik was. In het midden van het gebied bevond zich een Elzenbroekbos dat zo nat was dat het vrijwel ontoegankelijk was (Verbruggen 2018).

Hier was de veenlaag vermoedelijk het dikst. Naar schatting 2-3 meter uitgaande van een gemiddelde zakking van 1cm per jaar tot 1960 als gevolg van de geringe ontwatering van voor 1960, en zeker het dubbele na 1960 toen het gebied ten noorden van De Zegge diep ontwaterd werd.

De grondwaterstroming in die tijd is hypothetisch, maar wel gebaseerd op de hydrologische situatie in vrijwel ongestoorde beekdalen elders in Europa (Van Diggelen 1998). Uit de hogere gronden zal kalkarm grondwater toegestroomd zijn naar het beekdal, terwijl iets basenrijker en vooral ijzerrijk grondwater zal zijn toegestroomd uit diepere lagen, zoals de formaties van Diest en Kasterlee (AGT, 2016).



Figuur 4. Ecohydrologische situatie van het gebied rond het reservaat De Zegge rond 1870 (boven) en in 1919 (onder).

In de huidige situatie is van het vroeger zeer uitgestrekte voedselarme moeras maar weinig overgebleven (Verbruggen 2018). De Kleine Nete is rechtgetrokken en de veengronden zijn diep ontwaterd. Het reservaat is nu omgeven door diep gedraineerde landbouwgebieden die veel van het grondwater dat vroeger naar het reservaat stroomde afvangen. De waterstanden in het reservaat worden gedeeltelijk gecompenseerd door buffering van de randsloot langs de Roerdompstraat die het uit de polder uitgeslagen water afvoert. Dit compenseert weliswaar het uitzakken van de grondwaterstanden in de zomer gedeeltelijk, maar niet het tekort aan opkwellend grondwater en heeft als resultaat dat oppervlaktewater en vooral regenwater domineert in de toplaag van de bodem. Dit heeft tot gevolg dat de bodem verzuurt en dat de afbraak van de veenlaag niet wordt gestopt. De vervanging van zuurstofloos grondwater door zuurstofhoudend oppervlaktewater of neerslagwater leidt tot afbraak van veen (zie 'Broeikasgas-emissies'). Daarnaast bevat het oppervlaktewater ook relatief veel sulfaat dat onder natte omstandigheden bijdraagt aan anaerobe afbraak van veen (Smolders et al., 2006).

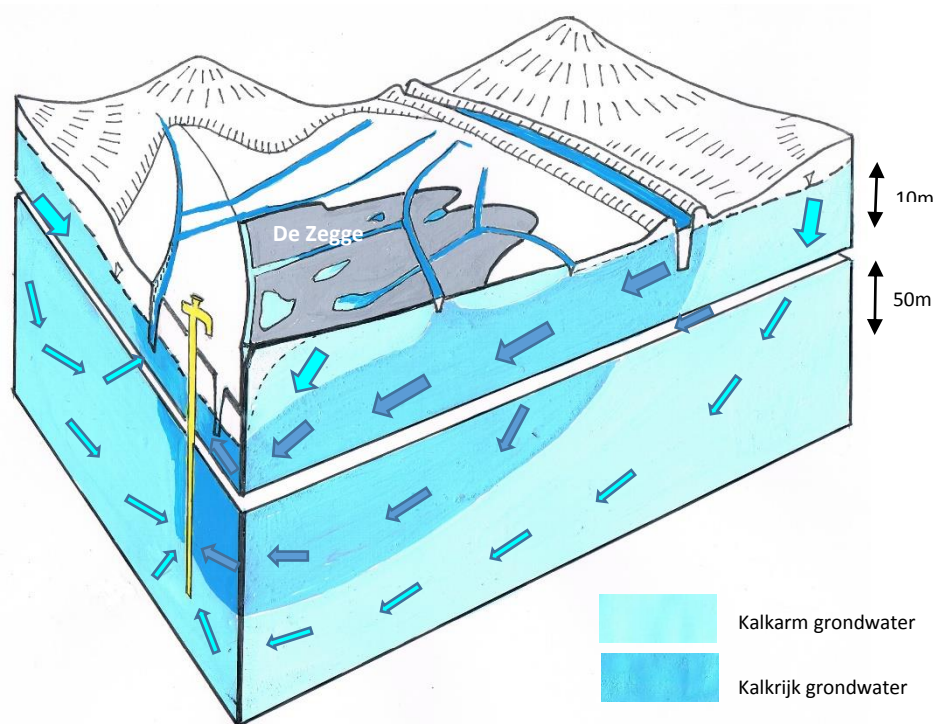
Backx et al. (2012) lieten zien dat in het landbouwgebied tussen De Zegge en de Kleine Nete gedurende de periode 2005-2010 gemiddelde grondwaterstanden werden gemeten tussen de 90 en 150 cm onder maaiveld. In De Zegge zelf waren de grondwaterstanden gemiddeld hoger dan 30 cm, maar met een dalende trend in het noordelijk deel dat grenst aan het diep ontwaterde landbouwgebied.

Het rechte trekken van beken en het graven van diepe en rechte sloten heeft tot gevolg dat water in de natte periode snel wordt afgevoerd, zodat boeren vroeg in het voorjaar met zwaar materieel het land

op kunnen. Maar bij zeer zware neerslag is de capaciteit van de gemalen onvoldoende om het aangevoerde oppervlakte water af te voeren, wat flinke overstromingen in het landbouwgebied tot gevolg kan hebben. Dit gebeurde bijvoorbeeld in 1998, 1999, 2002 en vooral in 2010, toen grote delen van het reservaat overstromden met water uit het landbouwgebied (Jaarverslag De Zegge 2010).

## Grondwateronttrekkingen

Behalve door de drainage rondom wordt de hydrologie van De Zegge ook negatief beïnvloed door een twintigtal grondwater onttrekkingen in de directe omgeving. Merendeels betreft het kleinere winningen van minder dan 10.000 m<sup>3</sup>/jaar, maar er zijn ook grotere winningen bij (> 25.000 m<sup>3</sup>/jaar) die op korte afstand van de Zegge liggen. De KMDA heeft bezwaar aangetekend tegen het voornemen van de LV Peeters Groep om een bestaande winning van 27.600 m<sup>3</sup>/jaar uit te breiden met 66.300 m<sup>3</sup>/jaar. Een dergelijke vergroting zou als consequentie hebben dat op een afstand van minder dan 700 meter van het reservaat jaarlijks 93.703 m<sup>3</sup> grondwater zou worden opgepompt.



*Figuur 5. Schematische weergave van het effect van grondwateronttrekking in de landbouwpolder op het naastliggende reservaat De Zegge. Een onttrekking van vele tienduizenden m<sup>3</sup> per jaar op ca 80 -110 meter diepte en op enkele honderden meter afstand van het reservaat onttrekt voornamelijk kalkarm grondwater uit de diepe zandige aquifer, en zeer waarschijnlijk ook kalkrijk grondwater dat vanuit het kanaal wordt aangevoerd. Naast de diepe waterstanden die in de polder door het gemaal aan de Roerdompstraat worden gehandhaafd zorgt de grondwateronttrekking er voor dat relatief kalkrijk kanaalwater wordt vervangen door neerslagwater en oppervlaktewater dat ter compensatie wordt opgepompt uit omliggende landbouwsloten. Dit leidt uiteindelijk tot verzuring en eutrofiering van het reservaat De Zegge.*

De rapportage van AGT (2016), die de invloed van de uitbreiding van de voorgenomen winning op het reservaat De Zegge heeft onderzocht, negeert de bestaande grondwateronttrekkingen en beperkt zich tot de effecten van de aangevraagde uitbreiding op de grondwaterstanden. Men schat dat die effecten voor het reservaat beperkt zullen blijven; niet meer dan 1 cm. Er wordt geconcludeerd dat de productieverhoging wordt gecompenseerd door een lagere afvoer naar de Kleine Nete via de bestaande drainagegrachten en de bemalingsinstallatie. Zoals het rapport stelt: “er wordt met andere

woorden netto geen water onttrokken". Het rapport onderbouwt deze conclusies niet met concrete uitkomsten van onderzoek naar de effecten van grondwaterwinning op De Zegge, althans deze worden niet weergegeven. Uit het rapport wordt duidelijk dat de conclusie dat de voorgenomen grondwaterwinning het reservaat niet nadelig zal beïnvloeden uitsluitend wordt gebaseerd op de resultaten van een hydrologisch model dat alleen waterstanden voorspelt. Dit is een inmiddels sterk achterhaalde benadering als het gaat om effecten op natuurgebieden. Niet alleen het effect op waterstanden in De Zegge is relevant, essentieel is vooral ook in hoeverre een ingreep effect heeft op de toestroom van schoon grondwater naar het reservaat. En het onttrekken van in totaal bijna 100.000 m<sup>3</sup> grondwater per jaar uit de formatie van Diest of daaronder in de onmiddellijke omgeving van De Zegge zal zeker een niet gering effect hebben op de grondwaterpotentialen onder het reservaat. Dat het onttrokken grondwater deels gecompenseerd wordt door versterkte infiltratie vanuit het oppervlaktewatersysteem zal niet leiden tot herstel van de kwelflux naar het reservaat en zal de verdere aantasting niet stoppen. Zoals in figuur 5 is aangegeven, worden door beheermaatregelen binnen een deel van het reservaat gedurende een deel van het jaar de waterstanden op peil gehouden, maar de verzuring van de bodem en de afbraak van het veen gaan door.

De AGT studie gaat niet in op de cumulatieve effecten van de verschillende grondwateronttrekkingen op de grondwaterstroming in de regio en de effecten daarvan op De Zegge. De grootste onttrekkingen betreffen de grondwateraanzuiging door het bestaande vijzelgemaal bij de Roerdompstraat en de onttrekking van 3 miljoen m<sup>3</sup>/jaar door het 3,5 km westelijk gelegen bedrijf Unicore. De inschatting van de Vlaamse Milieumaatschappij (2008) dat de effecten van deze laatste winning zich zou beperken tot een straal van 2,5 km rond de winplaats, is gebaseerd op de veronderstelling dat aanvoer van oppervlaktewater de effecten van de winning op de natuurgebieden zou beperken. Zoals hiervoor aangegeven is naast het effect van de winning op grondwaterstanden expliciet ook de mate van beïnvloeding van de hoeveelheid schoon grondwater dat in een natuurgebied opkwelt van essentieel belang.

Naast de jaarlijkse winning vraagt de Groep Peters ook vergunning aan voor een éénmalige onttrekking van in totaal 1.220.910 m<sup>3</sup> grondwater. Het gaat hierbij om een tijdelijke bemaling (290.000 m<sup>3</sup>) en om een éénmalige onttrekking van 930.910 m<sup>3</sup> grondwater, dat vervolgens in een gesloten circuit van koeling blijft circuleren. Hoewel het hier gaat om een tijdelijke winning, vraagt de Groep Peters toch een vergunning voor onbepaalde tijd aan. Wat het effect zal zijn van een dergelijke grote onttrekking op de waterstanden en de watersamenstelling van het grondwater in het reservaat De Zegge blijft ongewis.

## Ecologische situatie

De Zegge werd in 1952 in eerste instantie vooral aangekocht en vervolgens beheerd als vogelreservaat. Het gevolg hiervan is dat er over de zoölogische situatie veel meer bekend is dan over de vegetatiekundige kant. Toch kan aan de hand van mondelinge mededelingen van de beheerder en opmerkingen in het boek van Marcel Verbruggen over De Zegge (2018) wel het één en ander worden afgeleid over vegetatieveranderingen.

Allereerst is er –ondanks het gevoerde verschrallingsbeheer– sprake van een toename in productie, vooral ook aan de randen van het gebied. Dit betreft zowel boomgroei (wilg, els) als een toename van de oppervlakte bedekt met riet. Verbruggen (2018) wijt dit aan het noodzakelijke inlaten van voedselrijk oppervlaktewater in de zomer om verdroging te bestrijden. Een dergelijke inlaat van gebiedsvreemd water zal zeker de nodige nutriënten aanvoeren maar een grotere bijdrage bestaat



uit interne eutrofiering vanuit veenafbraak op plekken waar inzijging naar de landbouwpolder en verdampingsverliezen in de zomer niet snel genoeg kunnen worden aangevuld vanuit het oppervlaktewater. De grondwaterstanden zakken op dergelijke plekken in de zomer weg en via de afbraak van organisch materiaal komen zowel broeikasgassen als voedingsstoffen vrij. De eertijds open, laagproductieve vegetatie verandert op deze manier langzaam maar zeker in een meer productievere (lees: hogere en dichtere) situatie.

Een tweede effect dat vaak optreedt bij grondwaterstandsverlaging is verzuring. Natuurbeheerders proberen verdrogende gebieden nat te houden met behulp van allerlei kunstwerken zoals dammetjes en stuwen. Wanneer de grondwateraanvoer te gering is om verliezen te compenseren betekent dit dat in het winterhalfjaar vooral regen wordt vastgehouden. Een dergelijke vervanging van basenrijk grondwater door zuur regenwater leidt tot uitloging van in de bodem aanwezige mineralen en deze verzuurt langzaam maar zeker. Ook in De Zegge zijn hiervan vele voorbeelden te vinden. Plantensoorten die hun optima hebben onder neutrale tot basische condities nemen af terwijl soorten die meer zure omstandigheden prefereren duidelijk toenemen: *Veenmossen*, *Veenpluis* en *Zwarte zegge* maar ook zeldzame soorten zoals *Moerasviooltje*.

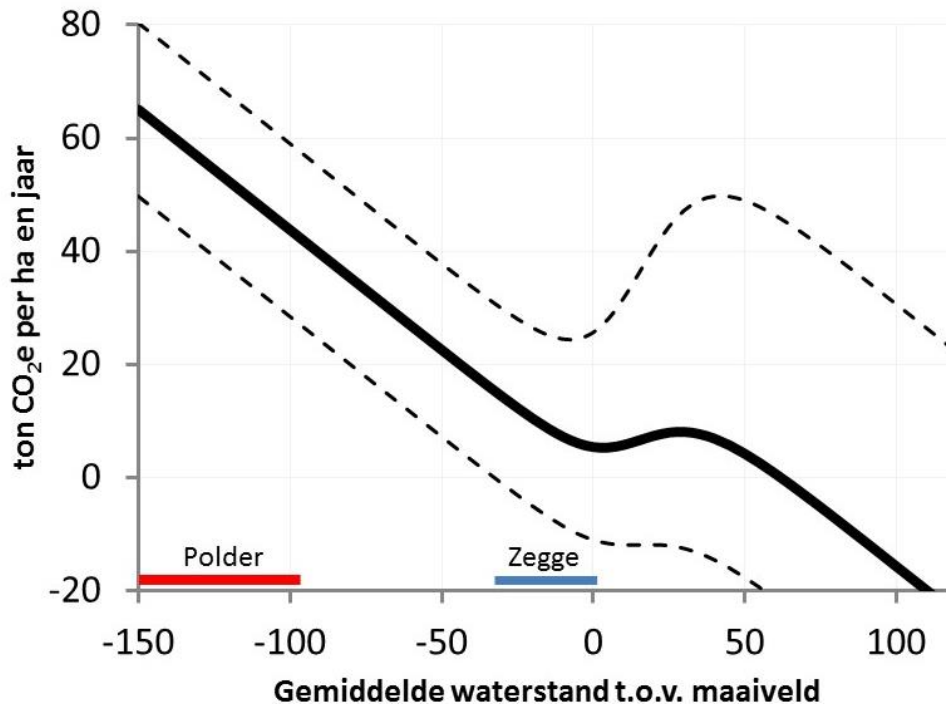
Wanneer de hydrologie niet fundamenteel wordt veranderd is het niet mogelijk een dergelijke ontwikkeling om te draaien. Verzuring kan weliswaar worden tegengegaan door een regelmatige bekalking die de achteruitgang van relatief basenminnende soorten vertraagt, maar dit stopt de veenafbraak en het daarbij behorende vrijkomen van voedingsstoffen niet. Een toenemende verruiging is dan het gevolg. Herintroductie van nu verdwenen soorten is alleen zinvol wanneer ook de hydrologische en bodemchemische omstandigheden kunnen worden hersteld (Van Duren et al. 1998).

## Broeikasgas-emissies

Veenbodems zijn ten gevolge van hun ontstaanswijze zeer rijk aan organische stof en zijn op wereldschaal een zgn. 'sink' voor koolstof, dat wil zeggen dat ze netto meer koolstof opslaan dan uitstoten. In gedraineerde veenbodems daarentegen wordt de opgeslagen organische stof onder invloed van zuurstof afgebroken en deze stoten dan ook een grote hoeveelheid broeikasgassen uit: op wereldschaal meer dan 2 Gigaton CO<sub>2</sub> equivalenten, dat wil zeggen ruim 5% van de mondiale emissies. Vanierschot (2014) schat voor de ontwaterde gronden van het Geels Gebroekt een jaarlijks verlies van omgerekend 31,5 ton CO<sub>2</sub> eq. per ha.

Hoewel ze zelf dit getal als tamelijk onnauwkeurig beschouwt, liggen deze in dezelfde orde van grootte als berekeningen van Couwenberg (2011) die voor graslanden op ontwaterd veen in de gematigde zone waardes geeft van ruim 20 ton CO<sub>2</sub> eq. per ha (zie ook Figuur 6). Daarnaast geeft Couwenberg (2011) voor dergelijke graslanden nog een gemiddelde emissie van 5.8 kg N<sub>2</sub>O per ha per jaar, wat neerkomt op een additioneel opwarmingspotentiaal equivalent aan dat van 1700 kg CO<sub>2</sub>.

Vergelijking van de bodemkaart die gemaakt werd ten tijde van de ontginning van het Geels Gebroekt met de huidige bodemkaart (Figuur 7) laat zien dat het landbouwgebied ten noorden van de Zegge tegenwoordig geheel bestaat uit natte Arenosolen (≈ natte zandgrond) terwijl het rond 1960 grotendeels nog werd gekarteerd als zand/veen of zelfs veen.



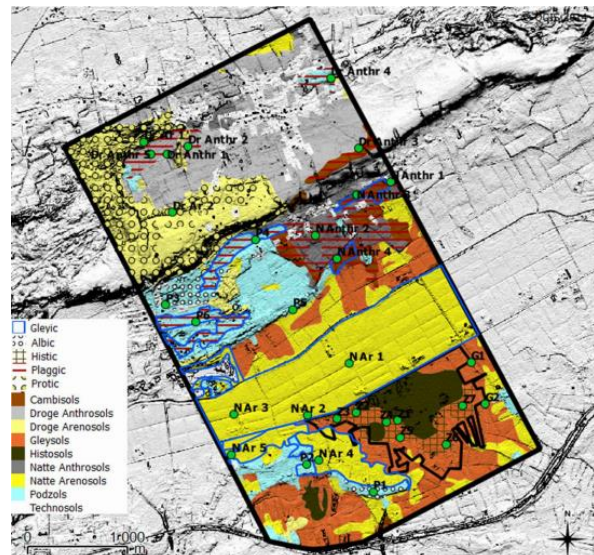
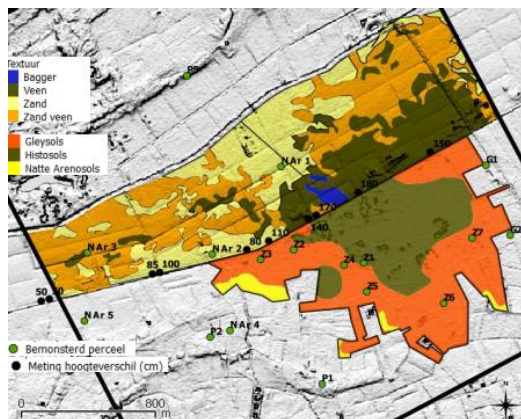
*Figuur 6. Koolstofemissies uit veengebieden in relatie tot waterstand. Negatieve emissiewaarden impliceren vastlegging van koolstof. Bron: Joosten (ongepubl.), gebaseerd op Couwenberg (2011). In de figuur staan daarnaast gemiddelde grondwaterstanden in de landbouwpolder en De Zegge aangegeven, gebaseerd op Backx et al. (2012).*

Daarnaast zijn er op zowel de Ferraris kaart als op de Topografische kaart van 1929 ten noorden van de huidige Roerdompstraat nog een vrij groot veengebied met veenputten te zien wat een veendikte van minstens vele decimeters suggereert, vermoedelijk meer (zie 'Ecohydrologische condities'). Dit alles doet vermoeden dat het overgrote deel van de organische stof in het landbouwgebied al in de vorm van broeikasgas is verdwenen. Vanierschot (2014) berekent voor het hele gebied een verlies van 110 000 – 170 000 ton CO<sub>2</sub> eq. voor de periode 1958-2014.

In De Zegge zelf is op veel plaatsen nog steeds een redelijke veenlaag aanwezig hoewel tijdens een veldbezoek in februari 2019 kon worden geconstateerd dat deze laag op meerdere plekken sterk veraard is. Dit impliceert dat ook hier sprake is van verdroging en CO<sub>2</sub> emissie, zij het dat dit verlies door het (zo goed mogelijk) op peil houden van de waterstanden door de beheerders lager zal zijn dan in het landbouwgebied. Vanierschot (2014) geven geen aparte emissiegetallen voor De Zegge maar het combineren van waterstandsdata uit Backx et al. (2012) met Figuur 6 geeft een schatting van 5-15 ton CO<sub>2</sub> eq. per ha voor het jaarlijks verlies in het noordelijk deel. Doordat de waterstanden vooral aan de randen diep wegzakken vanwege inzijging naar de polder is het berekende verlies hier groter dan in het centrum van het gebied. In het zuidelijk deel zijn de geschatte CO<sub>2</sub> emissies lager omdat daar minder veen aanwezig is. Ook zijn de waterstandsfluctuaties daar iets kleiner.

Zolang het waterstandsverschil tussen De Zegge en het landbouwgebied blijft bestaan mag worden verwacht dat een (groot) deel van het water in het noordelijk deel van De Zegge blijft wegzijgen naar de polder en de grondwaterstanden vooral in de zomer diep zullen uitzakken. Zolang er organische stof in de bodem aanwezig is blijft er sprake van emissie van broeikasgassen. Koolstof vastlegging door veenopbouw is bij de huidige waterstanden niet mogelijk.





Figuur 7. Bodemkaart ten tijde van de landbouwkundige aanpassingen (links) en herinterpretatie van de actuele bodemkaart. Figuren uit Vanierschot (2014).

## Herstelopties

### Interne inrichtings- en beheermaatregelen

Hiervoor is beschreven hoe de hydrologische randvoorwaarden voor De Zegge sterk zijn verstoord door de aanleg van de onderbemalen landbouwpolder ten noorden van het gebied. De potentiaal van het bovenste grondwater in de quartaire aquifer (AGT, 2016) ligt in de noordelijke helft van De Zegge op de meeste plekken ruim 1 meter onder maaiveld waardoor voeding vanuit het grondwater onmogelijk is. Het is niet mogelijk een dergelijk potentiaalverschil met interne inrichtingsmaatregelen te compenseren. Zolang de potentiaal in deze aquifer niet duidelijk wordt verhoogd is er altijd sprake van neerwaartse stroming en blijft de noordelijke helft van De Zegge in zijn gebied. Wel zouden mogelijk de standen van het freatisch water tot op zekere hoogte gebufferd kunnen worden door aanvoer van extra (oppervlakte) water cq. beperken van de verdamping. De volgende opties zijn in theorie mogelijk:

- *De randgracht die langs een deel van de noordrand loopt doortrekken langs de hele noordrand en op hetzelfde peil brengen als de aangrenzende plassen in De Zegge.*

Effecten binnen De Zegge: buiten een smalle randzone direct langs de gracht wordt weinig effect op de grondwaterstanden verwacht. Door sterke inklinking heeft de veenbodem een dermate lage doorlatendheid dat water niet ver zijdelings kan infiltreren.

Konsequenties buiten De Zegge: de waterstanden in de randsloot worden verhoogd tot een niveau dat vrijwel even hoog ligt als het wegdek van de Roerdompstraat. Dit vergt aanpassingen in de constructie van de weg om verzakking te voorkomen.

- *De waterstanden in De Zegge met behulp van stuwen zodanig verhogen dat grote delen van de noordelijke helft onderlopen.*

Effecten binnen De Zegge: Bij de huidige sterke inzigging kan een dergelijke optie alleen worden gerealiseerd door het inlaten van grote hoeveelheden oppervlaktewater. Inlaten van

ongezuiverd oppervlaktewater impliceert tevens een sterke aanvoer van nutriënten en leidt tot (ongewenste) vervuiling. Verlaging van de nutriëntenbeschikbaarheid tot een niveau dat laag genoeg is voor de doelvegetaties vereist een helofytenfilter van aanzienlijke oppervlakte buiten De Zegge en maakt deze optie bijzonder kostbaar, zowel in aanleg als ook in bedrijf. Een dergelijke aanpassing lost bovendien het probleem van veenaafbraak en de daaraan gekoppelde CO<sub>2</sub> emissie in De Zegge niet op omdat oppervlaktewater zuurstofhoudend is. Bovendien zullen de effecten van deze maatregel op de waterstand in De Zegge grotendeels te niet worden gedaan door intensiever pompen van het vizelgemaal aan de Roerdompstraat.

Konsekwenties buiten De Zegge: Vernatting van De Zegge leidt tot aanvulling van het bovenste grondwater in de quartaire aquifer en daarmee tot vergroting van de hoeveelheid water dat naar de landbouwpolder stroomt en daar opkwelt. Om vernatting te voorkomen moeten de automatische gemalen daar intensiever gaan pompen waardoor vernattingseffecten binnen De Zegge grotendeels teniet gedaan worden. Wat blijft is een sterke toename in de aanvoer van nutriënten en daarmee een toename van de vervuiling. Afgezien van de inrichtings- en beheerkosten lijkt deze optie daarom zoveel andere nadelen te hebben dat een totale evaluatie eerder negatief uitvalt.

- *Kappen van grotere oppervlaktes bos om de verdamping te verlagen.*

Effecten binnen De Zegge: In principe zou met een dergelijke maatregel een verlaging van de jaarlijkse verdamping met naar schatting 150-200 mm kunnen worden bereikt. Tegelijkertijd leiden de daarvoor noodzakelijke werkzaamheden tot verdere inklinking en andere beschadiging van de veenbodem. Daarnaast wordt het gebied door verwijdering van bufferende bosstroken meer open voor zuur- en stikstofdepositie. Tenslotte wordt een groot deel van de inrichtingseffecten op de waterstand in De Zegge teniet gedaan door intensivering van de ontwateringsactiviteiten buiten De Zegge.

Konsekwenties buiten De Zegge: Een vermindering van de verdamping in De Zegge leidt in principe tot aanvulling van het bovenste grondwater in de quartaire aquifer en daarmee tot vergroting van de hoeveelheid water dat naar de landbouwpolder stroomt en daar opkwelt. Om vernatting te voorkomen zullen de automatische gemalen daar intensiever gaan pompen waardoor vernattingseffecten binnen De Zegge grotendeels teniet gedaan worden. Wat blijft na kappen is een meer open gebied dat minder beschermt wordt tegen zuur- en stikstofdepositie. Ook deze optie heeft uiteindelijk meer negatieve dan positieve effecten.

- *De verzuring bestrijden door het bekalken van de bodem.*

Effecten binnen De Zegge: Met een dergelijke maatregel kan de verzuring worden tegengegaan maar daarvoor moet deze maatregel zeer regelmatig worden herhaald. Daarnaast wordt de afbraak van het veen juist versneld, omdat bij een hogere pH de mineralisatie wordt versterkt. Dit is dan ook geen reële optie voor het duurzaam in stand houden van de natuurwaarden.

Konsekwenties buiten De Zegge: geen.

- *Nog intensiever maaien om de additionele nutriënten weer af te voeren*

Effecten binnen De Zegge: Lokaal is dit in theorie wellicht mogelijk maar afgezien van een sterke toename van de kosten van het beheer staat een dergelijke maatregel ook op gespannen voet met de rust die in dit natuurgebied vereist is voor het instandhouden van de

vogeldoelstellingen. Daarnaast leidt maaien, voordat veel plantensoorten hun reproductiecyclus hebben voltooid, tot het verdwijnen van deze soorten wegens het uitblijven van de noodzakelijke verjonging.

Konsekwenties buiten De Zegge: geen.

Samenvattend betekent het bovenstaande dat het met alleen interne inrichtingsmaatregelen niet mogelijk is de opgetreden negatieve veranderingen in de hydrologie voldoende te compenseren. Met alleen interne inrichtingsmaatregelen zijn de oorspronkelijke beschermingsdoelstellingen op termijn niet houdbaar.

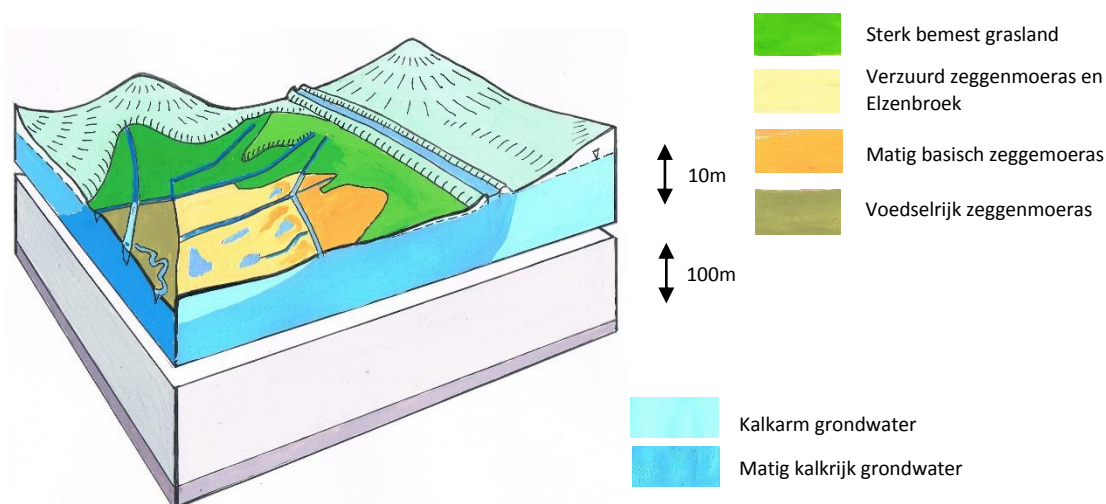
### Externe (Eco)hydrologische inrichtingsmaatregelen

De toenemende problemen in De Zegge zijn dus met interne maatregelen niet meer op te lossen. Waarmee niet alleen een probleem ontstaat met de bescherming van het gebied, maar ook is er momenteel geen sprake van herstel van in het verleden ontstane schade. Het ligt derhalve erg voor de hand om de hydrologische problemen die zijn ontstaan door de onderbemalen polder ten noorden van De Zegge in deze zelfde polder op te lossen. Land van boeren zonder opvolger kan bijvoorbeeld worden aangekocht om een waterbergingsgebied te creëren, dat niet alleen ongewenste overstromingen kan tegengaan, maar dat ook als hydrologische bufferzone kan fungeren voor De Zegge.

De ecohydrologische effecten van het inrichten van een dergelijk waterbergingsgebied zijn geschematiseerd weergegeven in Figuur 8. De grondwaterstand in het waterbergingsgebied zal met ruim een meter stijgen tot aan maaiveld en er zal zich een voedselrijke moerasvegetatie ontwikkelen, die bovendien als helofytenfilter kan functioneren en het landbouwwater kan zuiveren (Van Duren et al. 1998; Geurts & Fritz 2018). Dit nieuwe waterbergingsgebied zorgt ervoor dat de hydrologische gradiënt tussen het landbouwgebied en het reservaat De Zegge wordt verkleind omdat de waterstanden in het landbouwgebied stijgen. Hierdoor zal de infiltratie van neerslagwater in het noordelijk gebied van De Zegge verminderen, maar niet helemaal verdwijnen. Verder naar het zuiden is het waarschijnlijk dat grondwater weer tot in het maaiveld van het reservaat kan komen, maar dit zal moeten worden uitgewezen door monitoring van de grondwatersamenstelling op verschillende diepten.

Uitbreiding van grondwateronttrekkingen in het landbouwgebied is geen positieve bijdrage aan de bovengenoemde herstelstrategie. Er wordt sterk aangeraden alle onttrekkingen in de omgeving te stoppen inclusief de onttrekking in De Zegge zelf.

Bovengenoemde maatregelen zijn een stap in de richting van meer succesvolle herstelmaatregelen van De Zegge. In de toekomst kunnen meer maatregelen buiten het natuurreervaat worden genomen om het verlies van grondwater verder terug te dringen. Dit kan door op termijn meer landbouwgronden aan te kopen en om te zetten in een waterbergingsgebied. Hierdoor zal ook de noodzaak om grondwater op te pompen voor agrarisch gebruik komen te vervallen.



Figuur 8. Ecohydrologische effecten van vernatting van het naastgelegen landbouwgebied ten noorden van De Zegge.

## Effecten van herstelopties

### Effecten op broeikasgas-emissies

Een eerste vereiste om de broeikasgas-emissies vanuit De Zegge te verlagen is het gebied te vernatten met grondwater. De mate waarmee dat gerealiseerd kan worden bepaalt in grote mate welke reductie haalbaar is. Een waterstand rond maaiveld zou ideaal zijn (Figuur 6) maar de beschreven interne herstelopties –met uitzondering van optie 2 (de “bevoeiingsoptie”)- leiden geen van allen tot een dergelijke situatie. Duidelijk is dat optie 1 alleen niet zal leiden tot een significante afname van broeikasgasemissies. Optie 3 zou in principe wel tot lagere uitstoot kunnen leiden maar op basis van de beschikbare gegevens kan niet worden ingeschat tot welke reductie dit leidt. Daarvoor moet de te verwachten grondwaterstandsstijging beter worden gekwantificeerd. Datzelfde geldt tot op zekere hoogte ook voor het effect van de externe inrichtingsoptie. Duidelijk is dat vernatting van de huidige landbouwpolder zal resulteren in sterk verminderde waterverliezen vanuit De Zegge en daarmee tot kleinere waterstandsverlagingen gedurende droge periodes en lagere emissies. Ook leidt vernatting tot significant lagere broeikasgasemissies in de polder zelf maar tegelijkertijd heeft de zakking van deze polder er toe geleid dat het niet meer mogelijk is de standen tot het niveau van het maaiveld van De Zegge te verhogen. Dat zou een waterstand van ca. 1.5 m boven het huidige maaiveld impliceren en dus de creatie van een meer. Een optimale reductie van broeikasgasemissies uit het totale gebied lijkt daarmee het meest gebaat bij een combinatie van zowel interne als externe vernatting.

### Effecten op ammoniak-emissies

Ammoniak-emissies vinden voor meer dan 95% hun oorsprong in de landbouw, met name in de veehouderij. De beschreven interne herstelopties in De Zegge zelf hebben daarmee geen enkel meetbaar effect op de uitstoot van ammoniak.

Veranderingen in inrichting en gebruik van het aangrenzende landbouwgebied daarentegen hebben hier wel degelijk effect op. Tenzij de bestaande stallen worden omgevormd tot emissiearme ruimtes zal continuering van het landbouwkundig gebruik in de huidige polder hoogstwaarschijnlijk leiden tot een toename van de ammoniak depositie in De Zegge. Op dit moment worden de twee dichtstbijzijnde boerderijen niet voor landbouw doeleinden gebruikt maar wanneer dit wel (weer) het geval zou zijn

leidt dit lokaal tot verhoging van de ammoniak-emissie. Gemiddeld voor Vlaanderen bedraagt die momenteel ca. 50 kg per ha landbouwgrond<sup>6</sup>, waarvan het overgrote deel in en rond de bedrijfsgebouwen vrijkomt. De ammoniak die vervluchtigt bij mestuitrijden en vanuit de vegetatie bedraagt 27% van het totaal<sup>7</sup>, omgerekend ruim 10 kg per ha landbouwgrond per jaar. Omvormen van het huidige landbouwgebied tot overstromingsmoeras zou daarmee zowel een toekomstige toename blokkeren als ook de huidige emissie stoppen.

### Effecten op waterberging

In het voorgaande is aangegeven dat de beschouwde interne herstelopties nauwelijks zullen (kunnen) leiden tot verhoging van de grondwaterstand in De Zegge. Vergroting van de waterberging in De Zegge zelf door interne inrichtingsveranderingen is daarmee dan ook geen serieuze optie.

Het behoeft geen betoog dat het voorstel om de landbouwpolder om te vormen tot een nat natuurgebied (zie Figuur 8) daarentegen -naast verhoging van de biodiversiteit- wel leidt tot een sterke vergroting van de waterberging ten tijde van piekafvoeren. Wanneer bij een toekomstige inrichting een grondwaterstand rond maaiveld wordt gerealiseerd kan bij het voorgestelde natuurherstel van 100 ha minimaal 1 miljoen m<sup>3</sup> bij piekafvoeren van de Nete (> 20 m<sup>3</sup> per seconde)<sup>8</sup> worden geborgen en een dergelijk inrichtingsalternatief levert daarmee een serieuze bijdrage aan de benedenstroomse veiligheid.

## Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies

- De aanwijzing van het KMDA natuurreservaat De Zegge als Natura 2000 gebied verplicht de overheid tot het bereiken van een aanzienlijke en meetbare verbetering in de staat van instandhouding tegen 2020.
- Voor bepaalde, exact gedefinieerde, habitattypen heeft de overheid zich zelf opgelegd een gunstige staat van instandhouding te bereiken tegen 2020. Deze typen komen deels ook in De Zegge voor en zijn alle gebonden aan nutriëntenarm basen- tot kalkrijk grond- of oppervlaktewater.
- Tot op heden neemt de staat van instandhouding van alle habitattypen in De Zegge echter steeds verder af.
- De belangrijkste reden voor de geconstateerde achteruitgang in De Zegge zijn hydrologische ingrepen buiten het reservaat. Met name de sterk verlaagde waterstanden in de onderbemalen landbouwpolder tussen De Zegge en de Nete hebben een sterk negatieve invloed op het reservaat. Daarnaast dragen ook het grote aantal grondwateronttrekkingen in de nabijheid in aanzienlijke mate bij aan de gestage achteruitgang van het reservaat.

---

<sup>6</sup> <https://www.vmm.be/lucht/luchtverontreiniging/Land-en-tuinbouw/ammoniak>

<sup>7</sup> Vlaamse Milieumaatschappij (2018), Jaarrapport Lucht. Emissies 2000-2016 en luchtkwaliteit 2017

<sup>8</sup> Secretariaat Netebekken (zonder datum), Het bekkenbeheerplan van het Netebekken (2008-2013). Integraal waterbeleid in de praktijk. Rapport D/2009/6871/012.

- De hydrologische effecten van beide ingrepen zijn vergelijkbaar en betreffen vooral de afbuiging van de grondwaterstroming naar de polder en de onttrekkingen en leiden daarmee tot een sterke afname van grondwater-invloed in De Zegge.
- Dit levert een aantal hydrologische effecten binnen De Zegge op: (1) verdroging op plaatsen waar de grondwaterstanden niet kunnen worden gebufferd; (2) verzuring op plaatsen waar regenwater wordt vastgehouden; (3) verruiging op plaatsen waar de beheerders proberen grondwaterstanden op peil te houden door inlaat van oppervlaktewater.
- Onder de huidige hydrologische omstandigheden is het bereiken van een gunstige staat van instandhouding voor de omschreven natuurdoelen onhaalbaar.
- Vooral in de onderbemalen landbouwpolder maar op kleinere schaal ook in De Zegge leiden de hydrologische veranderingen tot de emissie van grote hoeveelheden broeikasgassen.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat het bereiken van de vereiste gunstige staat van instandhouding voor de in De Zegge aanwezige habitattypen slechts duurzaam mogelijk is door het nemen van externe hydrologische maatregelen die ervoor zorgen dat het hydrologisch systeem weer zo gaat functioneren dat er voldoende basenrijk en nutriëntenarm grondwater aan maaiveld komt.

## Aanbevelingen

De volgende maatregelen zijn essentieel om een gunstige staat van instandhouding voor de in De Zegge aanwezige habitattypen te kunnen bereiken. In volgorde van belang wordt aanbevolen:

- De huidige onderbemaling van de landbouwpolder ten noorden van de Zegge te stoppen en de waterstanden daar te verhogen tot maaiveld. In de praktijk impliceert dit dat voortzetting van de huidige landbouwmethoden onmogelijk is. Voor de hand ligt dat de bestemming van de polder wordt gewijzigd tot een nat natuurgebied.
- Grondwateronttrekkingen in de ruime omgeving van De Zegge sterk terug te schroeven en waar mogelijk te stoppen.
- Landbouwactiviteit in de ruime omgeving van de Zegge neer te schalen om de ammoniak- en zuurdepositie in De Zegge te reduceren en de inlaat van nutriënten te verminderen;
- Watervlies uit het reservaat via het oppervlaktewatersysteem zoveel mogelijk te beperken met behulp van stuwen, dammetjes, overstromingsbekkens en andere technieken.
- De bestaande grondwaterpompen in De Zegge zelf te ontmantelen. De in het laatste decennium onttrokken hoeveelheden grondwater zijn dermate gering dat ze geen enkel effect op de buffering van grondwaterstanden hebben en daarmee vervalt hun functie. De bestaande buizen met filter kunnen worden gebruikt om de potentiaal van het grondwater in diepere lagen te meten.
- Sterk verdroogde delen van het reservaat te laten overstromen met –bij voorkeur voorgezuiverd- oppervlaktewater om broeikasgasemissies te beperken en verruiging terug te dringen.



## Geciteerde referenties

- AGT n.v. , 2016. Melkveebedrijf Peeters, Geel. *Hydrogeologische studie Grondwaterwinning & KWO*. Rapport 2016 12 10-MPOS/JVST-AGT1981-Rapport-v1.
- Backx, H., Meire, P. & van Diggelen, R., 2012. *Ecohydrologie van De Zegge. Een beschrijving over de tijdsperiode 2005-2010*. Rapport Universiteit Antwerpen, Onderzoeksgroep Eco-systeembeheer, ECOBE 012-R156.
- Couwenberg, J., 2011. Greenhouse gas emissions from managed peat soils: is the IPCC reporting guidance realistic? *Mires and Peat* 8: 10.
- Geurts, J, & Fritz, C, (eds.), 2018. Paludiculture pilots and experiments with focus on cattail and reed in the Netherlands. *Technical report CINDERELLA project*. Radboud University Nijmegen, department of Aquatic Ecology & Environmental Biology.
- Smolders A.J.P., Lamers L.P.M., Lucassen E.C.H.E.T., van der Velde G., Roelofs J.G.M. 2006, Internal eutrophication: How it works and what to do about it – a review. *Chemistry and Ecology* 22 (2), 93–111.
- Van Diggelen, R. 1998. *Moving gradients. Assessing restoration prospects of degraded brook valleys*. PhD thesis RU Groningen.
- Van Duren, I.C., Strykstra, R.J., Grootjans, A.P., Ter Heerdt, G.N.J. & Pegtel, D.M., 1998: A multidisciplinary evaluation of restoration measures in a degraded fen meadow (*Cirsio-Molinietum*). *Applied. Vegetation Science* 1: 115-130.
- Vanierschot, L., 2014. *Bodemorganische koolstof in het landschap: relatie met natuurlijke en antropogene gradiënten in de Kempen*. MSc thesis bio-ingenieurswetenschappen land- en bosbeheer KU Leuven.
- Verbruggen, M., 2018. *De vallei van de Kleine Nete met De Zegge en de tijd van toen*. Eigen uitgave.
- Vlaamse Milieumaatschappij (2008). *Rivierherstel van de Kleine Nete tussen Herentals en Kasterlee. Eco-hydrologische studie*. Juni 2008.



